

Requested Patent: EP0559942A1

Title: SELF OPTIMIZING CONTROL FOR AN ELECTROFILTER. ;

Abstracted Patent: EP0559942 ;

Publication Date: 1993-09-15 ;

Inventor(s): GRASS NORBERT DIPL-ING (DE); DOENIG GERHARD DIPL-ING (DE) ;

Applicant(s): SIEMENS AG (DE) ;

Application Number: EP19920104314 19920312 ;

Priority Number(s): EP19920104314 19920312 ;

IPC Classification: B03C3/68 ;

Equivalents: DE59206952D ;

ABSTRACT:

The present invention relates to a self-optimising control for an electrostatic filter, which control involves the automatic analysis, on the basis of empirical values, of any events which occur, e.g. filter flashovers, and on the basis of the analysis results determining new, optimised control parameters (tDS, tE, I), e.g. a flashover delay time (tDS), a deionisation time (tE) or a filter current (I) for the electrostatic filter and are set for the electrostatic filter.

19



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



11 Veröffentlichungsnummer: **0 559 942 A1**

12

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **92104314.7**

51 Int. Cl.5: **B03C 3/68**

22 Anmeldetag: **12.03.92**

Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 86  
(2) EPÜ.

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**15.09.93 Patentblatt 93/37**

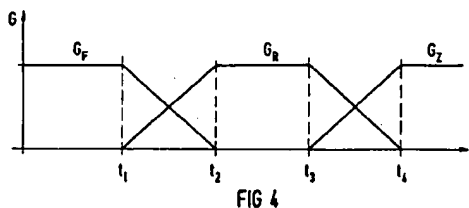
84 Benannte Vertragsstaaten:  
**DE DK FR GB IT NL SE**

71 Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**Wittelsbacherplatz 2**  
**D-80312 München(DE)**

72 Erfinder: **Grass, Norbert, Dipl.-Ing.**  
**Schwarzwasserstrasse 1**  
**W-8501 Feucht(DE)**  
Erfinder: **Dönig, Gerhard, Dipl.-Ing.**  
**Sachsenstrasse 6**  
**W-8520 Erlangen(DE)**

54 **Selbstoptimierende Steuerung für ein Elektrofilter.**

57 Die vorliegende Erfindung betrifft eine selbstoptimierende Steuerung für ein Elektrofilter, bei der eintretende Ereignisse, z.B. Filterdurchschläge, aufgrund von Erfahrungswerten automatisch ausgewertet werden und aufgrund der Auswertungsergebnisse neue, optimierte Steuerungsparameter ( $t_{DS}$ ,  $t_E$ ,  $I^*$ ) z.B. eine Durchschlagswartezeit ( $t_{DS}$ ), eine Entionisierungszeit ( $t_E$ ) oder ein Filterstrom ( $I^*$ ), für das Elektrofilter ermittelt und dem Elektrofilter vorgegeben werden.



EP 0 559 942 A1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuerung für ein Elektrofilter, bei der eintretende Ereignisse, z.B. Filterdurchschläge ausgewertet werden und aufgrund der Auswertungsergebnisse neue, optimierte Steuerungsparameter, z.B. eine Durchschlagswartezeit, eine Entionisierungszeit oder ein Filterstrom, für das Elektrofilter ermittelt und dem Elektrofilter vorgegeben werden.

Derartige Steuerungen sind weit verbreitet. Im Regelfall werden hierbei von Zeit zu Zeit, z.B. im Abstand von mehreren Minuten, Filterkennlinien ausgenommen und auf einem Bildschirm dargestellt. Eine Bedienungsperson wertet dann diese Filterkennlinie aufgrund ihrer Erfahrung aus und gibt der Steuerung neue Parameter vor. Bei dieser Art der Parametervorgabe ist nachteilig, daß die von der Bedienungsperson gelieferten Steuerungsparameter nicht immer optimal sind. Außerdem muß stets eine Bedienungsperson anwesend sein.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Steuerung für ein Elektrofilter zur Verfügung zu stellen, die sich selbst optimiert und überwacht. Die subjektive Optimierung soll also durch eine objektive ersetzt werden.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Steuerung die eintretenden Ereignisse aufgrund von Erfahrungswerten selbst automatisch auswertet und dann aufgrund der Auswertungsergebnisse neue, optimierte Steuerungsparameter für das Elektrofilter ermittelt und dem Elektrofilter vorgibt.

Die Auswertung der Ereignisse kann beispielsweise mittels auf den Erfahrungswerten basierender Auswertungsregeln erfolgen.

Eine besonders gute Nachbildung der menschlichen, unscharfen Logik ergibt sich, wenn eintretenden Ereignisse durch die Auswertungsregeln aufgrund von ereignisspezifischen Kenndaten, z.B. der Zeit seit dem letzten Durchschlag, mindestens einer von mehreren Ereignisarten, z.B. Folgedurchschlag, typischer Durchschlag, zufälliger Durchschlag, zugeordnet werden.

Vorzugsweise wird dabei die Zuordnung zu den Ereignissen gewichtet, wobei die Summe der Gewichtungen stets den Wert 1 ergibt. Weiterhin wird vorteilhafterweise ein eintretendes Ereignis höchstens zwei Ereignisarten gleichzeitig zugeordnet.

Um die Auswirkungen einzelner "Ausreißer" bei den Ereignissen möglichst gering zu halten, erfolgt die Optimierung der Steuerungsparameter vorzugsweise aufgrund einer statistischen Auswertung des eintretenden Ereignisses und vorausgegangener Ereignisse. Vorzugsweise werden hierzu das eintretende Ereignis und eine vorgebbare Anzahl unmittelbar vorausgegangener Ereignisse ausgewertet. Es ist prinzipiell aber auch möglich, mit einem kontinuierlich wirkenden Vergeßlichkeitsfaktor zu arbeiten.

Die Selbstoptimierung ist besonders einfach, wenn bei der Optimierung der Steuerungsparameter zuerst die Durchschlagswartezeit, dann die Entionisierungszeit und erst dann der Filterstrom optimiert wird.

Für den Fall, daß hochohmige Stäube abgeschieden werden sollen, ist es zur Vermeidung von Rücksprüheffekten von Vorteil, wenn in vorwählbaren Zeitabständen eine Filterkennlinie aufgenommen wird. Für den Fall, daß die Filterspannung als Funktion des Filterstroms ein Maximum aufweist, wird der Filterstrom, bei dem dieses Filterspannungsmaximum erreicht wird, dann dem Elektrofilter fest als Filterstrom-Sollwert vorgegeben.

Wenn die Steuerung eine als neuronales Netz ausgebildete Optimierungseinheit aufweist, zeigt die Steuerung Selbstlernverhalten. Dadurch ist es möglich, nicht nur die Steuerungsparameter, sondern auch die Auswertungsregeln selbst zu optimieren.

Wenn der Steuerung ein in einer Leitwarte angeordnetes Anzeigegerät, z.B. ein Monitor, zugeordnet ist, können mittels des Anzeigegerätes, Prozeßzustände, Prozeßdaten und/oder die Steuerungsparameter dargestellt werden. Dadurch ist es möglich, das Elektrofilter zu überwachen und ggf. korrigierend einzugreifen. Weiterhin ist es möglich, der Steuerung versuchsweise manuell neue Parameter vorzugeben und deren Auswirkung zu beobachten. Dadurch kann die Steuerung noch weiter optimiert werden als die selbstoptimierende Steuerung dies selbst kann.

Wenn die Steuerung zumindest teilweise in einem eigenständigen Teilsystem eines vernetzten Automatisierungssystems einer technischen Anlage implementiert ist, die selbstoptimierende Steuerung also als eigenständiges Teilsystem des Automatisierungssystems verwendet wird, beeinflussen sich die selbstoptimierende Steuerung und der Rest des vernetzten Automatisierungssystems so wenig wie möglich. Ein derartiges vernetztes Automatisierungssystem ist z.B. in der älteren DE-Anmeldung P 41 25 374.4 beschrieben.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels, anhand der Zeichnungen und in Verbindung mit den weiteren Unteransprüchen. Dabei zeigen:

- FIG 1 ein Blockdiagramm des Aufbaus einer Elektrofilterstromversorgung,
- FIG 2 schematisch die Reaktion bei einem Durchschlag,
- FIG 3 eine Verteilungsfunktion von selbstverlöschenden Durchschlägen,
- FIG 4 das Prinzip der Zuordnung von Durchschlägen zu bestimmten Durchschlagsarten,
- FIG 5 einen Korrekturfaktorverlauf und

FIG 6 eine Filterkennlinie.

Gemäß FIG 1 besteht die Stromversorgungseinrichtung eines Elektrofilters, z.B. eines Kraftwerks, aus einem Leistungsteil 1, mittels dessen das (der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellte) Elektrofilter mit Strom versorgt wird. Der Leistungsteil 1 kann beispielsweise ein Zwischenkreisumrichter sein, wie er allgemein bekannt ist, z.B. aus der DE-OS 35 22 569 oder dem DE-GM 90 03 125.

Der Leistungsteil 1 wird über eine Steuereinrichtung 2 angesteuert, die den Leistungsteil 1 aufgrund der Vorgaben der weiteren Steuerungsebenen 3 bis 5 ansteuert. Bei der Ansteuerung des Leistungsteils 1 werden selbstverständlich die technischen Grenzen des Leistungsteils 1 berücksichtigt.

Die Steuereinrichtung 2 erhält ihre Sollwerte von der Überwachungseinheit 3. Die Sollwerte sind beispielsweise der Strom-Sollwert  $I^*$  für den Filterstrom  $I_F$  und ein Freigabesignal. Umgekehrt meldet die Steuereinrichtung 2 an die Überwachungseinheit 3, wenn sie den Leistungsteil 1 nicht anforderungsgerecht ansteuern kann, z.B. weil ein Drahtbruch aufgetreten ist oder weil eines der Halbleiter-Leistungselemente des Leistungsteils 1 defekt ist.

Ferner wird in der Überwachungseinheit 3 laufend die Filterspannung  $U_F$  ausgewertet und daraus auf bestimmte Filterzustände, z.B. Filterdurchschlag, Kurzschluß oder andere Fehler geschlossen. Weiterhin wird von der Überwachungseinheit 3 von Zeit zu Zeit, z.B. jede Minute, eine Filterkennlinie aufgenommen, deren Sinn und Zweck später in Verbindung mit FIG 6 noch erläutert werden wird.

Die Überwachungseinheit 3 erhält Daten sowohl von der Optimierungseinheit 4 als auch von der Benutzerschnittstelle 5. Von der Benutzerschnittstelle 5 werden der Überwachungseinheit 3 beispielsweise die Betriebsart (Pulsbetrieb, Gleichspannungsbetrieb, gemischter Betrieb usw.) sowie der Zeitabstand vorgegeben, in dem immer wieder eine Filterkennlinie aufgenommen werden soll.

Die weiteren Parameter werden von der Benutzerschnittstelle 5 zunächst der Optimierungseinheit 4 vorgegeben, die typisch eine Fuzzy-Control-Einheit ist. Die Optimierungseinheit 4 gibt der Überwachungseinheit 3 die weiteren Steuerungsparameter vor, welche die Überwachungseinheit 3 zur Ansteuerung der Steuereinrichtung benötigt. Die Steuerungsparameter werden später noch bei FIG 2 näher erläutert werden. An dieser Stelle sei nur erwähnt, daß die Filterdurchschläge von der Überwachungseinheit 3 detektiert werden und dementsprechende Meldungen an die Optimierungseinheit 4 übertragen werden. Die Optimierungseinheit 4 wertet diese Meldungen aufgrund von Erfahrungswerten automatisch aus, ermittelt aufgrund der Auswertungsergebnisse neue, optimierte Steuerungsparameter und gibt diese Parameter der

Überwachungseinheit 3 vor. Die Steuerungsparameter werden nunmehr nachstehend in Verbindung mit FIG 2 näher erläutert.

In FIG 2 ist nach oben der im Elektrofilter fließende Strom  $I_F$  und nach rechts die Zeit  $t$  aufgetragen. Zum Zeitpunkt  $T_1$  tritt ein Filterdurchschlag auf. Wenn der Filterdurchschlag bis zum Zeitpunkt  $T_2$  nicht wieder von selbst verloschen ist, sperrt die Überwachungseinheit 3 über die Freigabeleitung 6 die Ansteuerung des Leistungsteils 1. Der Leistungsteil 1 speist folglich keine Energie mehr in das Elektrofilter. Der Strom  $I_F$  im Elektrofilter sinkt also mangels weiterer Energiezufuhr schlagartig auf Null. Zum Zeitpunkt  $T_3$  gibt die Überwachungseinheit 3 über die Freigabeleitung 6 die Steuereinrichtung 2 wieder frei und gibt der Steuereinrichtung 2 ferner den Wert  $I_0$  als neuen Strom-Sollwert vor. Der Filterstrom  $I_F$  wird sodann kontinuierlich bis auf den Wert  $I^*$  erhöht, der zum Zeitpunkt  $T_4$  erreicht wird, wenn nicht zuvor ein neuer Durchschlag erfolgt.

Typische Steuerungsparameter für die Stromversorgungseinrichtung des Elektrofilters sind nun die Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$ , die Entionisierungszeit  $t_E$  sowie der gewünschte Filterstrom  $I^*$ . Die Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  ist dabei durch die Differenz der Zeitpunkte  $T_2$  und  $T_1$  gegeben. Die Entionisierungszeit  $t_E$  ist durch die Differenz der Zeitpunkte  $T_3$  und  $T_2$  gegeben. Weitere mögliche Steuerungsparameter sind die Anstiegszeit, also die Differenz der Zeiten  $T_4$  und  $T_3$  sowie die Stromabsenkung nach einem Durchschlag, also die Differenz von  $I_0$  und  $I_{DS}$ .

In der Überwachungseinheit 3 wird laufend registriert, ob ein Durchschlag stattgefunden hat. Wenn ein Durchschlag stattgefunden hat, wird zwischen selbstverlöschenden und nicht selbstverlöschenden Durchschlägen unterschieden. Damit die Optimierungseinheit 4 die Steuerungsparameter Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$ , Entionisierungszeit  $t_E$  und Filterstrom  $I_F$  optimieren kann, werden bei jedem Durchschlag folgende Werte von der Überwachungseinheit 3 an die Optimierungseinheit 4 übergeben:

- Die Meldung, daß ein Durchschlag erfolgt ist,
- ob der Durchschlag selbstverlöschend war,
- die Zeit  $t$ , die seit dem letzten Durchschlag verstrichen ist,
- der Filterstrom  $I_{DS}$  zum Zeitpunkt des Durchschlages und
- die Löschzeit  $t_L$ , wenn der Filterdurchschlag ein selbstverlöschender Durchschlag war.

In der Optimierungseinheit 4 werden die Daten z.B. der letzten 100 Durchschläge ständig bereitgehalten. Die Optimierungseinheit 4 optimiert zunächst die Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$ . Die Optimierung der Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  beruht auf der Erfahrungstatsache, daß selbstverlöschende Filterdurchschläge einerseits in der Regel eine gewisse

Mindestdauer haben, andererseits aber oberhalb einer gewissen Höchstdauer nicht mehr von selbst verlöschen. Zur Optimierung der Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  wird folglich aus den in der Optimierungseinheit 4 gespeicherten Daten die relative Häufigkeit von selbstverlöschenden Filterdurchschlägen als Funktion der Löschzeit  $t_L$  berechnet. Sodann wird versucht, eine geeignete Verteilungskurve, z.B. eine Parabel oder eine Gaußkurve in die H-Werte hineinzufitten, wie schematisch in FIG 3 dargestellt ist. In FIG 3 wurde eine Parabel in die H-Werte hineingefittet.

Aufgrund der gefitteten Kurve wird dann eine neue, optimierte Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  berechnet, z.B.  $t_{DS} = 1,5 \times M$ , wenn M der Zeitwert ist, bei dem die gefittete H-Kurve ihr Maximum erreicht.

Wenn diese Art der Berechnung der optimalen Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  zu kompliziert ist, kann die Ermittlung der optimierten Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  auch einfacher erfolgen. In diesem Fall wird einfach der Mittelwert  $\bar{t}_L$  der Löschzeiten  $t_L$  ermittelt und mit einem geeigneten Faktor F multipliziert. Der Faktor F ergibt sich aufgrund einer einfachen Überlegung. Wenn der optimale Zustand bereits erreicht ist, soll dieser ja nicht mehr verändert werden. Man nimmt also an, daß man die gefittete H-Kurve gemessen habe und daß die Meßwerte bei der gewünschten, optimierten Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  enden. Sodann errechnet man den hypothetischen Mittelwert dieser H-Kurve. Der optimale Faktor F ergibt sich dann als Quotient von optimierter Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  und diesem Mittelwert. Im obenstehenden Beispiel (Fitten einer Parabel,  $t_{DS} = 1,5 \times M$ ) ergäbe sich beispielsweise ein optimaler Faktor F von 12/7.

Nach der Berechnung der optimierten Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  wird eine neue, optimierte Entionisierungszeit  $t_E$  berechnet. Hierzu werden die registrierten Durchschläge den Durchschlagsarten "Folgedurchschlag", "repräsentativer Durchschlag" oder "zufälliger Durchschlag" zugeordnet. Auswahlkriterium für die Zuordnung eines Durchschlags zu einer der Durchschlagsarten ist dabei die Zeit, die seit dem vorhergehenden Durchschlag verstrichen ist. Die Optimierung der Entionisierungszeit  $t_E$  beruht auf der Erfahrungstatsache, daß laufend Folgedurchschläge auftreten, wenn die Entionisierungszeit  $t_E$  zu klein ist. Da andererseits auch laufend Folgedurchschläge auftreten, wenn die Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  zu klein ist, kann die Optimierung der Entionisierungszeit  $t_E$  aber erst nach der Optimierung der Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  erfolgen.

- Wenn die Zeit t kleiner als die Zeit  $t_1$  ist, wird der Durchschlag mit der Wahrscheinlichkeit  $G_F = 1$  als Folgedurchschlag gewertet.
- Wenn die Zeit t zwischen  $t_1$  und  $t_2$  liegt, sinkt die Wahrscheinlichkeit, mit der der Durch-

schlag als Folgedurchschlag zu werten ist, auf Null ab. Entsprechend sinkt auch die Gewichtung  $G_F$ , mit der der Durchschlag als Folgedurchschlag gewichtet wird, linear auf Null ab. Damit die Summe der Gewichtungen 1 bleibt, muß folglich der Gewichtungsfaktor  $G_R$ , mit der der Durchschlag als repräsentativer Durchschlag gewichtet wird, linear von Null auf 1 ansteigen.

- Wenn die Zeit t seit dem letzten Durchschlag zwischen  $t_2$  und  $t_3$  liegt, wird der Durchschlag mit dem Gewichtungsfaktor  $G_R = 1$  als repräsentativer Durchschlag gewichtet.
- Oberhalb der Zeit  $t_3$  sinkt der Gewichtungsfaktor  $G_R$  für einen repräsentativen Durchschlag linear auf Null ab. Dementsprechend steigt der Gewichtungsfaktor  $G_Z$ , mit dem der Durchschlag als zufälliger Durchschlag gewichtet wird, linear an.
- Ab der Zeit  $t_4$  wird der Durchschlag dann ausschließlich als zufälliger Durchschlag gewichtet, d.h.  $G_Z = 1$ .

Statt der in FIG 4 dargestellten Gewichtungsfunktionen  $G_F$ ,  $G_R$  und  $G_Z$  können selbstverständlich auch andere Gewichtungsfunktionen verwendet werden. Es sollte lediglich darauf geachtet werden, daß die Summe der gewählten Gewichtungsfunktionen stets 1 ist und daß sich die Gewichtungsfunktionen  $G_F$  und  $G_Z$  nicht überlappen, oder anders ausgedrückt, daß  $t_3$  stets größer oder höchstens gleich  $t_2$  ist.

Um den Einfluß von einzelnen, zufälligen "Ausreißern" möglichst gering zu halten, wird nicht nur der letzte Durchschlag, sondern, wie schon zuvor bei der Optimierung der Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$ , alle abgespeicherten Durchschläge ausgewertet. Die Anzahl der abzuspeichernden Durchschläge kann je nach Bedarf vorgegeben werden. Die Anzahl kann z.B. 50, kann aber auch 500 sein.

Aus den abgespeicherten Durchschlägen errechnet die Optimierungseinheit 4 den Quotienten von der Zahl  $N_R$  von repräsentativen Durchschlägen und der Zahl  $N_F$  von Folgedurchschlägen. Die Zahl  $N_R$  von repräsentativen Durchschlägen ist gegeben durch die Gleichung

$$N_R = \sum G_R \quad (\text{Gl.1})$$

Analog ist die Zahl  $N_F$  von Folgedurchschlägen durch die Gleichung

$$N_F = \sum G_F \quad (\text{Gl.2})$$

Die Entionisierungszeit  $t_E$  ist dann optimal, wenn das Verhältnis von repräsentativen Durchschlägen zu Folgedurchschlägen einen vom Benutzer vorwählbaren Wert von z.B. 10 hat. Wenn das Verhältnis also größer als 10 ist, ist die Entionisierungszeit  $t_E$  zu

groß und muß folglich verkleinert werden. Umgekehrt muß die Entionisierungszeit  $t_E$  vergrößert werden, wenn zu viele Folgedurchschläge auftreten. Die Optimierung der Entionisierungszeit  $t_E$  geschieht auf folgende Art und Weise.

Zunächst wird anhand eines vorgegebenen Funktionsverlaufs aus dem Quotienten von repräsentativen Durchschlägen zu Folgedurchschlägen ein Korrekturfaktor  $k_E$  für die Entionisierungszeit berechnet.  $k_E$  muß gleich Null sein, wenn das Verhältnis von repräsentativen Durchschlägen zu zufälligen Durchschlägen erreicht wird. Der Korrekturfaktor  $k_E$  muß größer Null sein, wenn das Verhältnis unterschritten wird, und kleiner Null sein, wenn das Verhältnis überschritten wird.

FIG 5 zeigt eine besonders einfache Möglichkeit zur Berechnung des Korrekturfaktors  $k_E$ .

Die neue, optimierte Entionisierungszeit  $t_E$  ergibt sich dann zu

$$t_E := (1 + k_E) \cdot t_E \quad (Gl.3)$$

Als letztes wird dann der Filterstrom  $I_F$  optimiert. Hierzu wird von der Erkenntnis Gebrauch gemacht, daß bei optimierter Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  und Entionisierungszeit  $t_E$  praktisch nur zufällige Filterdurchschläge auftreten, wenn der Filterstrom  $I_F$  zu gering ist. Umgekehrt steigt das Verhältnis von repräsentativen Durchschlägen zu zufälligen Durchschlägen, wenn der Filterstrom  $I_F$  sich seiner Durchschlagsgrenze nähert. Analog zur Optimierung der Entionisierungszeit  $t_E$  wird daher außer der Zahl  $N_R$  von repräsentativen Durchschlägen noch die Zahl  $N_Z$  von zufälligen Durchschlägen gemäß der Gleichung

$$N_Z = \Sigma G_Z \quad (Gl.4)$$

berechnet.

Aus dem Verhältnis von  $N_R$  zu  $N_Z$  ergibt sich dann ein Korrekturfaktor  $k_I$  für den Filterstrom-Sollwert  $I^*$ . Der neue Sollwert  $I^*$  ergibt sich gemäß der Gleichung

$$I^* := (1 + k_I) \cdot I^* \quad (Gl.5)$$

Die Steigungen der Korrekturfunktionen  $k_E$  bzw.  $k_I$  können selbstverständlich auch anders als in FIG 5 dargestellt verlaufen. Insbesondere können sie steiler oder flacher sein, wenn dies aus Stabilitätsgründen geboten ist, und insbesondere können die Korrekturfunktionen  $k_E$  und  $k_I$  auch verschieden voneinander sein.

Die so ermittelten, neuen, optimierten Steuerungsparameter  $t_{DS}$ ,  $t_E$  und  $I^*$  werden von der Optimierungseinheit 4 der Überwachungseinheit 3 vorgegeben. Die Überwachungseinheit 3 steuert daher das Elektrofilter mit diesen optimierten Steuerungs-

parametern  $t_{DS}$ ,  $t_E$  und  $I^*$ , bis sich das Betriebsverhalten des Elektrofilters ändert und dadurch eine erneute Korrektur der Steuerungsparameter  $t_{DS}$ ,  $t_E$  und  $I^*$  nötig wird.

Von Zeit zu Zeit; z.B. jede Minute oder alle 5 Minuten, stößt die Optimierungseinheit 4 die Aufnahme einer Filterkennlinie durch die Überwachungseinheit 3 an. Die Überwachungseinheit 3 nimmt daraufhin eine Filterkennlinie auf, d.h. die Filterspannung  $U_F$  als Funktion des Filterstromes  $I_F$  wird bestimmt.

Wenn die Filterkennlinie im wesentlichen monoton verläuft, so wie in FIG 6 für die Kurve 1 angedeutet, wird der Überwachungseinheit 3 als Sollwert  $I^*$  für den Filterstrom  $I_F$  der maximale Strom  $I_{max}$ , abzüglich eines Sicherheitsabschlages von z.B. 5 %, vorgegeben und die Optimierung des Filterstromes  $I_F$  erfolgt wie obenstehend beschrieben.

Wenn die Filterkennlinie dagegen ein Maximum aufweist, so wie in Kurve 2 dargestellt, so wird der Überwachungseinheit 3 als Sollwert  $I^*$  für den Filterstrom  $I_F$  der Strom vorgegeben, bei dem das Spannungsmaximum  $U_{max}$  erreicht wird. In diesem Fall entfällt die obenstehend beschriebene Optimierung des Filterstromes. Die Optimierung des Filterstromes wäre in diesem Fall nämlich sinnlos, da oberhalb des Spannungsmaximums  $U_{max}$  ein Rücksprühen aufträte, das die Effizienz des Elektrofilters stark reduzieren würde.

Abschließend sei erwähnt, daß die Steuereinrichtung 2, die Überwachungseinrichtung 3, die Optimierungseinheit 4 und die Benutzerschnittstelle 5 selbstverständlich auch in Form eines Computerprogramms realisierbar sind, eine Hardwareausgestaltung ist nicht nötig. Ebenso sei erwähnt, daß die vorliegende Erfindung selbstverständlich auch bei gepulsten Elektrofiltern anwendbar ist. In diesem Fall stehen zur Optimierung außer Durchschlagswartezeit  $t_{DS}$  und Entionisierungszeit  $t_E$  z.B. noch die Pulshöhe und -dauer sowie die Pulsfrequenz zur Verfügung.

Die Optimierungseinheit kann selbstverständlich nicht nur die menschliche, unscharfe Logik nachvollziehen, ist also nicht nur eine Fuzzy-Control-Einheit, sondern kann ebenso auch zusätzlich als neuronales Netz mit Selbstlernverhalten ausgebildet sein. Dadurch ist es nicht nur möglich, die Steuerungsparameter zu optimieren, sondern auch die Auswertungsregeln selbst. Dieses Selbstlernverhalten ist allgemein als "supervised learning by back propagation" eines neuronalen Netzes bekannt. Die Ausbildung des neuronalen Netzes kann dabei in an sich bekannter Art und Weise erfolgen.

# Patentansprüche

1. Selbstoptimierende Steuerung für ein Elektrofilter, bei der eintretende Ereignisse, z.B. Filterdurchschläge, aufgrund von Erfahrungswerten automatisch ausgewertet werden und aufgrund der Auswertungsergebnisse neue, optimierte Steuerungsparameter ( $t_{DS}, t_E, I^*$ ), z.B. eine Durchschlagswartezeit ( $t_{DS}$ ), eine Entionisierungszeit ( $t_E$ ) oder ein Filterstrom ( $I^*$ ) für das Elektrofilter ermittelt und dem Elektrofilter vorgegeben werden. 5
2. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ereignisse mittels auf den Erfahrungswerten basierenden Auswertungsregeln ausgewertet werden. 10
3. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß eintretenden Ereignisse durch die Auswertungsregeln aufgrund von ereignisspezifischen Kenndaten ( $t_{DS}, t_L$ ), z.B. der Zeit ( $t$ ) seit dem letzten Durchschlag, mindestens einer von mehreren Ereignisarten, z.B. Folgedurchschlag, typischer Durchschlag, zufälliger Durchschlag, zugeordnet werden. 15
4. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zuordnung zu den Ereignissen gewichtet wird, wobei die Summe ( $G_F + G_R + G_Z$ ) der Gewichtungen ( $G_F, G_R, G_Z$ ) stets den Wert Eins ergibt. 20
5. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein eintretendes Ereignis höchstens zwei Ereignisarten gleichzeitig zugeordnet wird. 25
6. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Optimierung der Steuerungsparameter ( $t_{DS}, t_E, I^*$ ) aufgrund einer statistischen Auswertung des eintretenden Ereignisses und vorausgegangener Ereignisse erfolgt. 30
7. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das eintretende Ereignis und eine vorgebbare Anzahl unmittelbar vorausgegangener Ereignisse ausgewertet werden. 35
8. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Auswertung der Ereignisse Mittelwerte ( $\bar{t}_L$ ) verwendet werden. 40
9. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 6, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optimierten Steuerungsparameter ( $t_{DS}, t_E, I^*$ ) mit Sicherheitszuschlägen bzw. Sicherheitsabschlägen beaufschlagt werden. 45
10. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Auswertung der Ergebnisse Verhältnisse ( $N_R/N_F, N_R/N_Z$ ) von Ereignisarhäufigkeiten gebildet werden. 50
11. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Optimierung der Steuerungsparameter ( $t_{DS}, t_E, I^*$ ) zuerst die Durchschlagswartezeit ( $t_{DS}$ ), dann die Entionisierungszeit ( $t_E$ ) und erst dann der Filterstrom ( $I^*$ ) optimiert wird. 55
12. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in vorwählbaren Zeitabständen eine Filterkennlinie aufgenommen wird und daß für den Fall, daß die Filterspannung ( $U_F$ ) als Funktion des Filterstroms ( $I_F$ ) ein Maximum ( $U_{max}$ ) aufweist, der Filterstrom bei dem dieses Filterspannungsmaximum ( $U_{max}$ ) erreicht wird, dem Elektrofilter fest als Filterstrom-Sollwert ( $I^*$ ) vorgegeben wird.
13. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuerung (1-5) eine Optimierungseinheit (4) aufweist, die vorzugsweise als neuronales Netz ausgebildet ist.
14. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Steuerung ein in einer Leitwarte angeordnetes Anzeigegerät, z.B. ein Monitor, zugeordnet ist, so daß mittels des Anzeigegeräts Prozeßzustände, Prozeßdaten (z.B.  $\bar{t}_L$ ) und/oder die Steuerungsparameter ( $t_{DS}, t_E, I^*$ ) darstellbar sind.
15. Selbstoptimierende Steuerung nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuerung (1-5) zumindest teilweise (2-4) in einem eigenständigen Teilsystem eines vernetzten Automatisierungssystems einer technischen Anlage implementiert ist.
16. Selbstoptimierende Steuerung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die technische Anlage ein Kraftwerk ist.

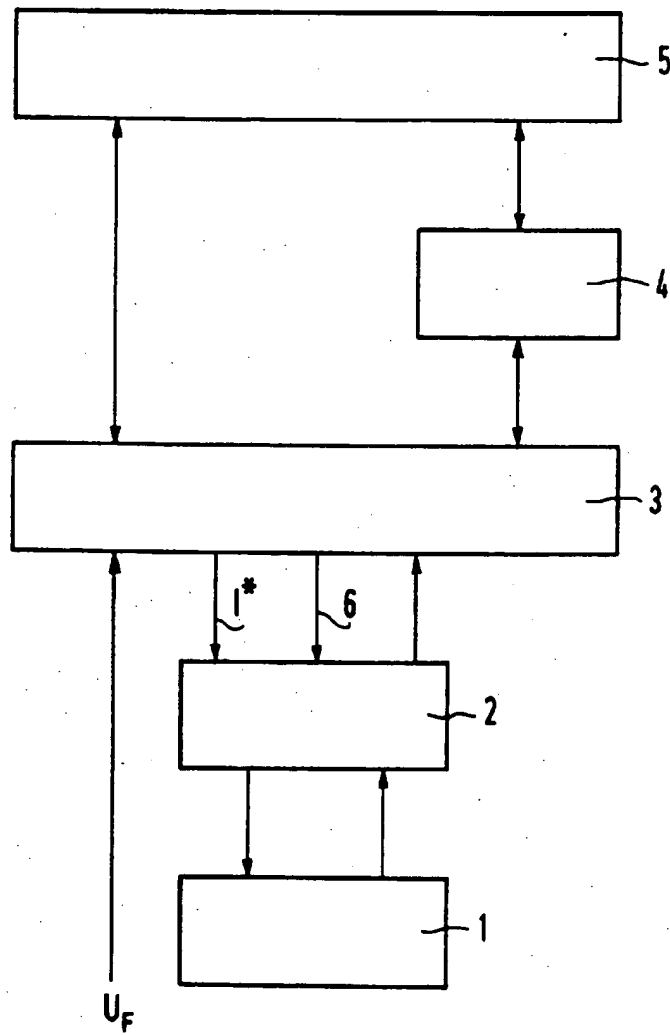


FIG 1



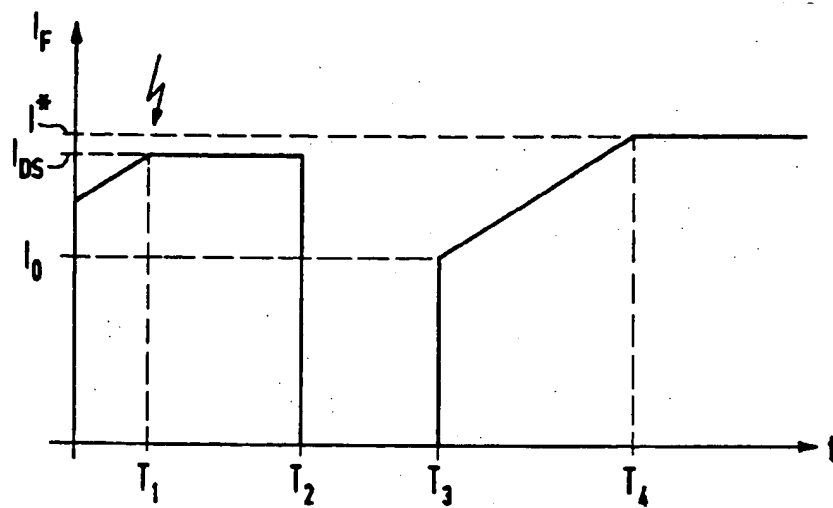


FIG 2

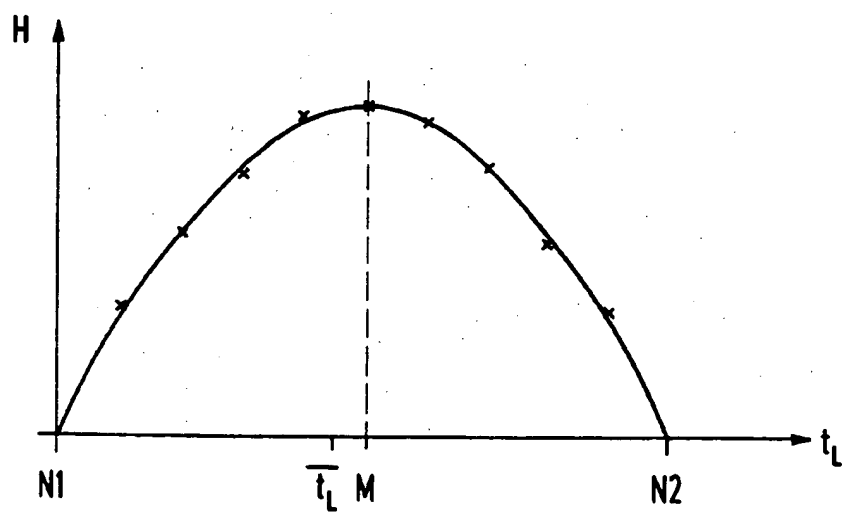
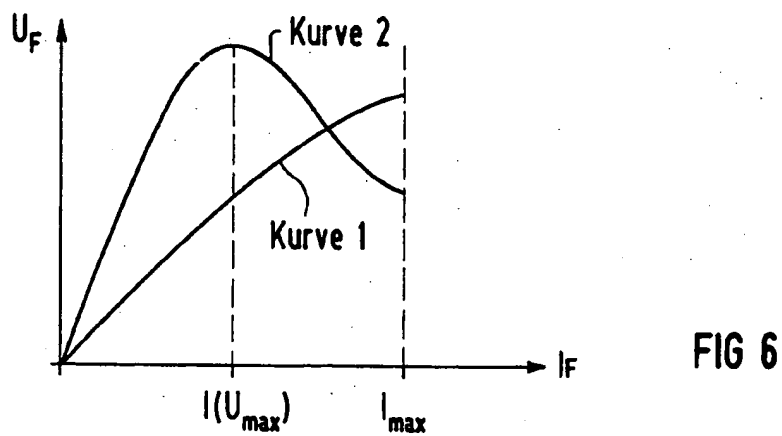
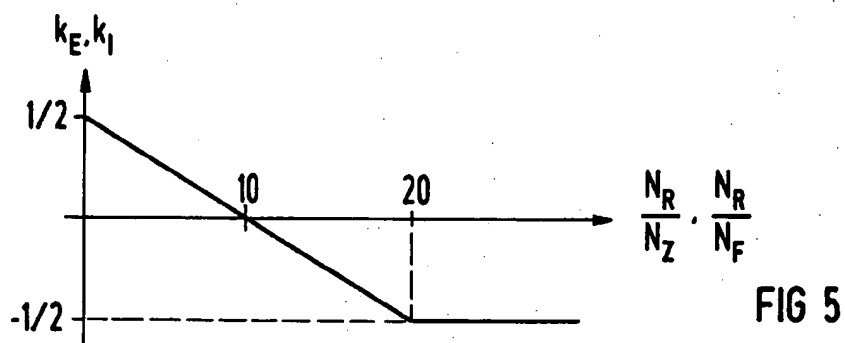
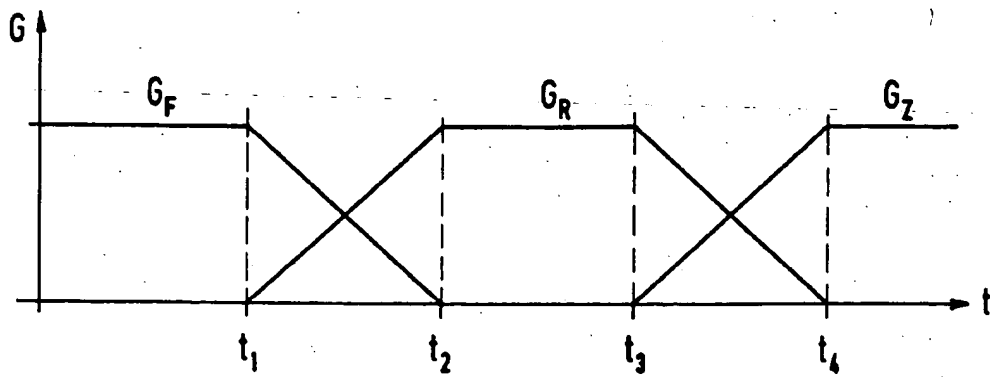


FIG 3





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 10 4314

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE   |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Kategorie  | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch  | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5) |
| X  | US-A-4 811 197 (WEXLER)   | 1,2,14,15  | B03C3/68                                 |
| A  | * Spalte 3 - Spalte 11 *  | 3  |  |
| A  | EP-A-0 103 950 (SMIDTH)<br>* Zusammenfassung *                                      | 6,7,9  |  |
| A  | US-A-4 311 491 (BIBBO)  |  |  |
| D,A  | EP-A-0 206 160 (METALLGESELLSCHAFT)   |  |  |
| D,A  | DE-U-9 003 125 (SIEMENS)  |  |  |
|  |   |  | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)    |
|  |   |  | B03C                                     |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt  |   |  |  |
| Recherchezort<br>DEN HAAG  |   | Abschlußdatum der Recherche<br>05 OKTOBER 1992   | Prüfer<br>BERTIN M.H.J.                  |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE  |   |  |  |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |   | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |  |